

УДК 681.3.06

А. Н. Корсаков

*(Новосибирск)***ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЦИФРОВЫХ СИГНАЛЬНЫХ ПРОЦЕССОРОВ
В СИСТЕМАХ МНОГОКАНАЛЬНОГО МОНИТОРИНГА
ФИЗИОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ**

Описывается архитектура системы многоканального мониторинга физиологических параметров организма человека, основанная на использовании цифровых сигнальных процессоров. Приводится пример конкретной реализации этой архитектуры на базе процессоров Analog Devices.

Введение. Актуальным направлением работ в области проектирования систем многоканального мониторинга физиологических параметров организма человека является разработка архитектур систем и алгоритмов с использованием новой элементной базы. Так, само понятие современной системы мониторинга подразумевает ее способность преобразовывать аналоговые электрические сигналы, являющиеся образами реальных физиологических параметров организма, в цифровую форму для последующей обработки, хранения и отображения результатов. В данной работе описывается опыт создания системы многоканального мониторинга с использованием цифровых сигнальных процессоров, которая, в отличие от появившихся в последнее время на западном рынке цифровых систем аналогичного назначения, является системой гибкой конфигурации, позволяющей производить адаптацию к типу решаемых задач мониторинга.

Оставляя в стороне детали обсуждения, сразу же отметим, что в рассматриваемых системах разрешающая способность АЦП с последующей цифровой обработкой сигнала должна быть не менее 12 разрядов, а число выборок из сигнала на канал — по крайней мере, несколько тысяч в секунду. При этом число каналов в системе может достигать нескольких десятков и даже сотен (пример — многоканальное ЭЭГ-картирование, прекардиальное картирование и т. п.). Если обработка данных в цифровом виде возможна в реальном времени, то появляется ряд дополнительных преимуществ [1], например создание систем незамедлительной реакции на изменение состояния организма.

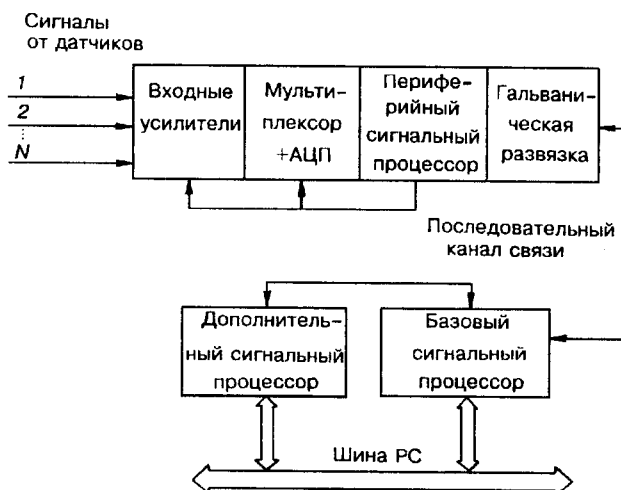
Системы мониторинга параметров организма человека должны удовлетворять высоким требованиям безопасности. Типичное требование — гальваническая развязка 4000 В (эф.) и ток утечки в несколько микроампер, включая ток утечки источника питания.

Верхний уровень обработки информации в системах многоканального мониторинга осуществляется в настоящее время специализированными программными продуктами, предназначенными для работы в операционной среде типа Windows 95. При таком подходе оказывается возможным широкий выбор существующих пакетов программ для манипуляции полученными результатами (хранение в базах данных, обеспечение современного графического и звукового интерфейса с пользователем). Более того, для создания специализирован-

ных программ обработки физиологических данных имеется возможность использования современных средств разработки прикладного программного обеспечения. Исходя из этого, аппаратная часть системы мониторинга должна обеспечивать возможность эффективной передачи данных в компьютер с операционной системой Windows 95, которая, хотя и не является системой реального времени, однако располагает широким спектром возможностей и, как известно, наиболее распространена.

Поток цифровой информации, подлежащей обработке в системе многоканального мониторинга, достигает нескольких сотен тысяч двухбайтовых слов в секунду. Поэтому естественным является построение системы с использованием цифровых сигнальных процессоров, предназначенных именно для такого круга задач. Выбор конкретных процессоров и их числа зависит от необходимого объема вычислений в реальном времени и типа решаемых задач, например, часто возникает необходимость выделения сигнала в некотором диапазоне частот. Причем для определенного физиологического сигнала эта полоса может изменяться, что обуславливается применяемой конкретной методикой или желанием экспериментатора. Управление полосой пропускания можно осуществлять в аналоговой части соответствующего входного усилителя. Однако это весьма дорогостоящий способ. Более эффективно применение методов цифровой фильтрации. Также практически в каждом канале необходимо подавлять сетевую наводку режекторными фильтрами. И в этом случае подавление сетевой наводки тоже эффективнее проводить цифровым способом без применения большого числа точных и дорогостоящих аналоговых компонентов. Другая распространенная задача — анализ спектра сигнала (быстрое преобразование Фурье) одновременно по нескольким каналам в реальном времени. Применение для этой цели сигнального процессора, обладающего соответствующей системой команд и производительностью, является оптимально необходимым.

Структура системы. Предлагаемый вариант структуры системы приведен на рисунке. Сигналы от датчиков усиливаются входными усилителями до уровней, необходимых АЦП во входном блоке. Далее через мультиплексор они подаются на вход АЦП, где преобразуются в цифровой вид и принимаются первым в цепочке периферийным сигнальным процессором. Периферийный процессор предназначен, во-первых, для управления входными усилителями, мультиплексором и АЦП. Во-вторых, здесь же осуществляется предварительная обработка и нормировка сигналов. В-третьих, последовательный синхронный порт процессора обеспечивает передачу данных через устройство гальванической развязки к установленному в РС базовому сигнальному процессору. Применение синхронного канала связи позволяет передавать поток



информации со скоростью порядка 10 Мбит/с и осуществлять необходимую 4000 В (эф.) гальваническую развязку.

Базовый сигнальный процессор необходим в первую очередь для обеспечения работы по приему и обработке данных в реальном времени, поступающих по последовательному каналу связи от периферийного процессора, и их последующей передачи через шину РС управляющей программе верхнего уровня, работающей в операционной среде Windows. Необходимый алгоритм обработки загружается в память программ базового сигнального процессора управляющей программой через шину РС.

Дополнительный синхронный порт базового сигнального процессора служит для передачи данных дополнительному сигнальному процессору, если требуется большой объем вычислений или предъявляются, например, повышенные требования к точности обработки. Алгоритм работы с информацией в дополнительном процессоре также является гибким и загружается управляющей программой через шину РС.

Замечания к выбору сигнального процессора. При детальном просмотре спектра алгоритмов, используемых в системах мониторинга физиологических параметров, представляется перспективным применение 16-разрядных процессоров с фиксированной точкой семейства ADSP-2100 фирмы "Analog Devices" [2].

Процессоры семейства ADSP-2100 выгодно отличаются от процессоров других фирм расширенным динамическим диапазоном для защиты от переполнения и самое главное наличием большого числа адресных регистров для организации циклических буферов и эффективной адресации по модулю. Это необходимо при реализации быстрых алгоритмов обработки данных, особенно в многоканальных системах. Даже при обработке данных в одноканальной системе оказывается, что практически реализованные алгоритмы работают быстрее на процессорах ADSP, чем, например, на процессорах TMS фирмы "Texas Instruments". Например, TMS320C50 при длительности цикла 25 нс выполняет 1024-точечное комплексное БПФ за 2,12 мс, а ADSP-2101 при длительности цикла 50 нс выполняет то же самое за 1,73 мс [2].

При практической реализации системы (см. структурную схему на рисунке) в качестве периферийного сигнального процессора желательно применить малопотребляющий ADSP-2103 с напряжением питания 3,3 В и производительностью 10 MIPS. В качестве базового процессора целесообразно использовать ADSP-2101 с пиковой производительностью 100 MIPS, а в качестве дополнительного мощного FPP-акселератора — процессор семейства ADSP-21000 SHARK ADSP-21060 с пиковой производительностью 120 Мфлопс.

Практическая реализация системы. Учитывая вышеизложенное, в Институте медицинской и биологической кибернетики СО РАМН реализована система многоканального мониторинга физиологических параметров. В качестве базового сигнального процессора использован процессор ADSP-2101. Входной блок реализован в виде 16-канального устройства гибкой конфигурации. Тип используемых каналов (электроэнцефалограмма, миограмма, кардиограмма, фотоплетизмограмма и т. д.) зависит от применяемых сменных входных усилителей. С целью создания системы минимальной конфигурации (и минимальной стоимости) периферийный сигнальный процессор исключен из входного блока. В блоке использованы 12-разрядные АЦП с последовательным выходом LTC1290 фирмы "Linear Technology". Интересной особенностью этих монолитных АЦП с 8-канальным мультиплексором и устройством выборки/хранения на кристалле является возможность их каскадирования. Это осуществимо ввиду того, что процессы преобразования аналогового сигнала и выдача/прием цифровой информации разделены во времени. Поэтому на основе двух 8-канальных выходов LTC1290 с максимальной частотой выборок 50 кГц получается 16-канальный блок с максимальной частотой выборок 100 кГц. Более того, несколько дополнительных микросхем СИС, необходимых для каскадирования, обеспечивают работу блока в режиме синхронного последовательного обмена.

Протокол обмена между базовым сигнальным процессором и входным блоком реализован следующим образом. Процессор посылает запрос на сбор данных с определенного канала, тип представления этих данных, униполярный и биполярный режимы и т. д. в 12-разрядном слове и одновременно принимает 12 разрядов ответа на предыдущий запрос.

Гальваническая развязка осуществляется во входном блоке по четырем шинам линии связи синхронного канала с использованием высоковольтных быстрых оптопар "Hewlett Packard". Линия связи между входным блоком и базовым процессором удовлетворяет требованиям стандарта RS485. Пропускная способность двунаправленного синхронного канала обмена вместе с гальванической развязкой составляет 10 Мбит/с, что позволяет использовать входной блок с периферийным сигнальным процессором и значительно большим числом каналов ввода аналоговых сигналов.

Базовый сигнальный процессор конструктивно оформлен в виде одной печатной платы, устанавливаемой в управляющий компьютер IBM PC. С целью возможного увеличения вычислительной мощности базового процессора имеется дополнительный синхронный канал связи для передачи данных дополнительному сигнальному процессору без использования ресурсов PC. Этот дополнительный канал связи можно использовать для подключения к базовому процессору второго входного блока и увеличения таким образом числа каналов до 32.

На плате процессора размещены дополнительные модули памяти программ и данных. Обмен данными между процессором и управляющей PC осуществляется с использованием команд пересылки блоков. Сами пересылки инициируются прерываниями. Такой механизм обмена позволяет управляющей программе (генератору приложений Medlab [3]), работающей в среде Windows 95, тратить на обмен данными с процессором относительно небольшое количество времени даже при использовании ISA-шины. Все функции по обеспечению работы в реальном времени в системе выполняет сигнальный процессор. Алгоритм обработки входного потока информации определяется высокоуровневой системой Medlab, которая загружает в память программ базового процессора необходимый алгоритм обработки.

Некоторые особенности программирования сигнального процессора. Для написания алгоритмов обработки информации на процессорах семейства ADSP-2100 может использоваться язык Ассемблер или компилятор GNU CC (версия G21) для семейства ADSP-2100 [4]. Применение Ассемблера для написания быстрых алгоритмов обработки хотя и требует больших затрат ручного труда, тем не менее позволяет обрабатывать значительные объемы информации. Данное преимущество перед компилятором языка C особенно заметно при реализации разнотипной обработки информации, поступающей из разных каналов. Это связано, прежде всего, с тем, что GNU CC использует для своих нужд основную часть блоков регистров относительной адресации (а это одно из основных преимуществ процессоров семейства ADSP по сравнению с другими процессорами), что значительно ограничивает возможность создания ассемблерных вставок с эффективной системой вызова.

При реализации алгоритмов обработки особое внимание уделяется сокращению времени инициализации при вызове отдельных модулей. Для этого, в частности, производится предварительное выделение из массива входных данных, несущего информацию о всех каналах системы, информации об одном из требуемых каналов (это происходит автоматически, так как процессоры семейства ADSP имеют возможность организации адресации по модулю). Последующие передачи данных модулям обработки осуществляются блоками. Такая схема обработки позволяет при существующих ресурсах процессора создать, например, двухуровневую систему цифровых фильтров, индивидуальных для каждого канала. При этом время, расходуемое на инициализацию модуля, получается много меньше времени, которое расходуется модулем непосредственно на обработку информации.

Заключение. Предлагаемая архитектура системы многоканального мониторинга физиологических параметров обладает гибкой конфигурацией и значительными функциональными возможностями. Представляется интересным в будущем осуществить автоматический перенос выполнения алгоритмов, разрабатываемых генератором приложений Medlab, непосредственно на уровень сигнальных процессоров.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Digital Signal Processing in VLSI /Richard J. Higgins, Englewood Cliffs. N. J.: Prentice Hall, 1990.
2. DSP/MSP Products Reference Manual. Analog Devices, Inc., 1995.
3. Егоров А. В. Инструментальная программная система для генерации и исполнения медицинских приложений // Автометрия. 1996. № 6.
4. ADSP-2100 Family C Tools Manual. Analog Devices, Inc., 1993.

Поступила в редакцию 3 октября 1996 г.
